

Zeitschrift: Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

Herausgeber: Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe

Band: 66 (1988)

Heft: 10

Artikel: Simultane Messung von Einfügungs- und Rückflusdämpfung an optischen Steckern = Mesure simultanée de la perte d'insertion et du taux de réflexion de connecteurs optiques

Autor: Bodmer, Georg / Novák, Rostislav

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-876262>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 14.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Simultane Messung von Einfügungs- und Rückflusdämpfung an optischen Steckern

Mesure simultanée de la perte d'insertion et du taux de réflexion de connecteurs optiques

Georg BODMER und Rostislav NOVÁK, Bern

Zusammenfassung. Die optischen Stecker gehören zu den wichtigen Elementen einer Übertragungsstrecke. Ihre Eigenschaften, vor allem ihre Einfügungs- und Rückflusdämpfung, können die gesamte Übertragung beeinflussen und müssen deshalb genau gemessen werden. Die Autoren beschreiben eine neue Methode und Apparatur zum gleichzeitigen messen beider Parameter. Der dynamische Bereich des Messplatzes liegt bei etwa 60 dB für die Rückstreuung an Monomode-Komponenten. Die langzeitige Messgenauigkeit der Einfügungsdämpfung beträgt 0,05 dB.

Résumé. Les connecteurs optiques comptent au nombre des principaux éléments d'une chaîne de transmission. Leurs caractéristiques, en particulier leur perte d'insertion et leur taux de réflexion peuvent influencer sur l'ensemble de la transmission et doivent de ce fait être mesurées avec précision. Les auteurs décrivent une nouvelle méthode et un dispositif permettant de mesurer simultanément les deux paramètres. La gamme dynamique de la place de mesure se situe aux environs de 60 dB pour les mesures de rétrodiffusion sur des composants monomodes. La précision de mesure à long terme de la perte d'insertion s'élève à 0,05 dB.

Misura simultanea delle attenuazioni di inserimento e di riflessione a connettori ottici

Riassunto. I connettori ottici sono elementi importanti di una tratta di trasmissione. Le loro caratteristiche, soprattutto le attenuazioni di inserimento e di riflessione, possono influire su tutta la trasmissione e devono perciò essere misurate con precisione. Gli autori descrivono un metodo e un apparecchio che permettono di misurare contemporaneamente i due parametri. Il campo dinamico del posto di misura si aggira sui 60 dB per le misure di retrodiffusione a componenti monomodo. La precisione di misure di lunga durata dell'attenuazione di inserimento è di 0,05 dB.

1 Einleitung

Ein optischer Stecker ist ein wichtiges Verbindungselement jedes optischen Übertragungssystems. Seine Eigenschaften können unter Umständen die gesamten Eigenschaften einer Strecke stark beeinträchtigen. Es sind vor allem die Einfügungsdämpfung in Durchlassrichtung (insertion loss) und die Rückflusdämpfung (return loss) eines solchen Elements, die aus optischer Sicht von Bedeutung sind.

Die Einfügungsdämpfung ist definiert als die optischen Verluste eines Stecker-Stecker-Übergangs einer Kupplung. Eine Kupplung besteht entweder aus zwei gleichen Steckern (connectors), die durch ein Mittelstück (adaptor) positioniert werden, oder aus einem «Weiblichen-männlichen»-Paar.

Bis vor kurzem hat man sich bei den PTT nur auf die Einfügungs-Dämpfungsmessungen einer Kupplung beschränkt. Dazu wurden entsprechende Messapparaturen entwickelt und Messvorschriften erlassen (siehe z. B. in [1]).

In der letzten Zeit wird jedoch immer mehr verlangt, auch die Rückflusdämpfung einer solchen Kupplung messen zu können. Darunter ist der Energieanteil des Lichts zu verstehen, der von der Kupplung reflektiert wird. Diese reflektierte Lichtenergie kann unter gewissen Umständen die Funktion eines Halbleiterlasers erheblich stören (mode jumping, chirping u. ä.), was zu einer Erhöhung des Rauschens (partition noise, modal noise usw.) führen kann. Monomodesysteme mit hohen Bitraten können bei einer zu kleinen Rückflusdämpfung eines Steckers ausser Takt geraten (Impuls-Überlapung).

Die heutzutage anwendbaren Rückflusdämpfungsmessmethoden sind im allgemeinen gut bekannt [2, 3]

1 Introduction

Un connecteur optique est un élément de couplage important dans tout système de transmission optique. Dans certains cas, ses caractéristiques peuvent exercer une influence sur l'ensemble des propriétés d'un trajet. Ce sont surtout la perte d'insertion dans le sens de voie directe (insertion loss) et le taux de réflexion (return loss) d'une telle connexion qui importent du point de vue optique.

La perte d'insertion se définit par les pertes optiques d'une transition d'une connexion. Un tel élément se compose soit de deux fiches identiques (connectors) positionnées par un raccord (adaptor) ou d'une paire de connecteurs «mâle-femelle».

Il y a encore peu de temps, on se contentait, aux PTT suisses, de mesurer la perte d'insertion d'une connexion. Des bancs de mesure ont été développés et des prescriptions édictées à cet effet (voir par ex. [1]).

Depuis peu, on souhaite cependant toujours plus souvent pouvoir mesurer également le taux de réflexion d'un tel élément. On entend par là la quote-part d'énergie lumineuse réfléchi. Dans certaines conditions, cette énergie lumineuse peut perturber sérieusement la fonction d'un laser à semi-conducteur (mode jumping, chirping, etc.), ce qui peut conduire à une augmentation du bruit (partition noise, modal noise, etc.). Dans le cas de débits binaires élevés, les systèmes monomodes peuvent parfois subir une arythmie (chevauchement d'impulsions) lorsque le taux de réflexion d'un connecteur est trop bas.

Les méthodes de mesure du taux de réflexion utilisables aujourd'hui sont en général bien connues [2, 3] et ont également pu être testées en peu de temps à l'Entreprise des PTT. Or, on s'est vite aperçu qu'il serait avan-

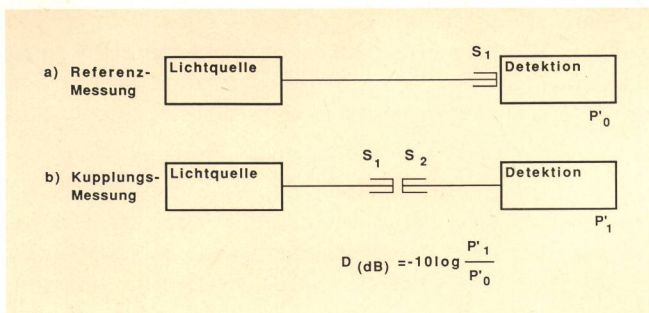


Fig. 1
Messung der Kupplungseinfügungsdämpfung D – Messung der Verluste d'insertion d'une connexion D
 Referenzmessung – Mesure de référence
 Kupplungsmessung – Mesure de la perte
 Lichtquelle – Source lumineuse
 Detektion – Détection

und konnten auch bei den PTT-Betrieben in kürzester Zeit getestet werden. Man hat dabei sehr schnell erkannt, dass es von Vorteil wäre, die beiden Messgrößen – Einfügungsdämpfung und Rückflusdämpfung einer Kupplung – *gleichzeitig* zu messen, um so die Verlustphänomene eines Steckers besser studieren zu können.

Die Autoren beschreiben die Beschreibung der Methode und Apparatur zum simultanen Messen beider Größen und definieren die Randbedingungen, die erfüllt werden müssen, um eine zuverlässige und präzise Messung durchführen zu können. Über die simultane Messung beider Größen gab es bis heute keine Hinweise in der Literatur. Die vorgeschlagene Methode kann deshalb als neu bezeichnet werden.

2 Messprinzip

Die *Figuren 1* und *2* stellen die bekannten Grundprinzipien der Einfügungs- und Rückflusdämpfungsmessungen an einer Kupplung dar.

Die Einfügungsdämpfungsmessung gemäss *Figur 1* besteht aus zwei Schritten. Zuerst wird die Strahlungsintensität P'_0 einer Kupplungshälfte (Stecker S_1) gemessen (Referenzmessung). Anschliessend wird der Stecker S_2 an S_1 angeschlossen und die abgeschwächte Intensität P'_1 des S_1 - S_2 -Übergangs erfasst (Kupplungsmessung). Das Verhältnis beider Intensitäten bildet dann das Mass für die Verluste oder die Einfügungsdämpfung D dieser Kupplung.

Etwas komplizierter sieht das Messprinzip der Rückflusdämpfung aus (*Fig. 2*). Wichtiger Bestandteil jeder dazu erforderlichen Messapparatur ist ein 3-dB-Richtkoppler. Zuerst wird die Intensität P''_0 an seinem Durchgangsarm (Punkt A) gemessen (Referenzmessung 1), als nächster Schritt die eigene Restrückstreuung des Richtkopplers R'_0 (Referenzmessung 2) an seinem Rückrichtungsarm (Punkt B) erfasst. Zum Schluss wird der zu untersuchende Prüfling S_1 - S_2 an Punkt A angeschlossen und seine Reflexion R'_1 am Ende des Rückrichtungsarms (Punkt B) gemessen (Kupplungsmessung).

Die rückgestreute Intensität R'_1 , bezogen auf die Referenzintensität P''_0 , bildet nach Abzug der Restkopplerverluste D_K und Anschlussverluste D_A die eigentliche Rückflusdämpfung RL dieser Kupp-

turen. Die Autoren beschreiben die Beschreibung der Methode und Apparatur zum simultanen Messen beider Größen und definieren die Randbedingungen, die erfüllt werden müssen, um eine zuverlässige und präzise Messung durchführen zu können. Über die simultane Messung beider Größen gab es bis heute keine Hinweise in der Literatur. Die vorgeschlagene Methode kann deshalb als neu bezeichnet werden.

Les auteurs décrivent les méthodes de mesure et le banc de mesure permettant de mesurer simultanément les deux grandeurs et définissent les conditions à remplir pour obtenir des résultats fiables et précis. Jusqu'ici aucun ouvrage spécialisé n'avait encore fourni d'indications sur la mesure simultanée des deux grandeurs. La méthode proposée peut donc être considérée comme nouvelle.

2 Principe de mesure

Les *figures 1* et *2* montrent les principes fondamentaux connus de la mesure des pertes d'insertion et de réflexion d'une connexion.

Comme le montre la *figure 1*, la mesure de la perte d'insertion comprend deux étapes. On mesure d'abord (mesure de référence) l'intensité de rayonnement P'_0 d'une moitié de connecteur (fiche S_1). On raccorde ensuite la fiche S_2 à la fiche S_1 et l'on détermine l'intensité réduite P'_1 de la transition S_1 - S_2 (mesure de la connexion). Le rapport des deux intensités constitue alors la mesure d'affaiblissement ou la perte d'insertion D de cette connexion.

Le principe de mesure du taux de réflexion semble quelque peu plus compliqué (*fig. 2*). Un élément important de tout banc de mesure nécessaire à cet effet est un coupleur directionnel 3 dB. On mesure tout d'abord l'intensité P''_0 dans le sens de voie direct (point A) [mesure de référence 1], puis, en tant qu'étape suivante, la propre rétrodiffusion parasite du coupleur directionnel R'_0 .

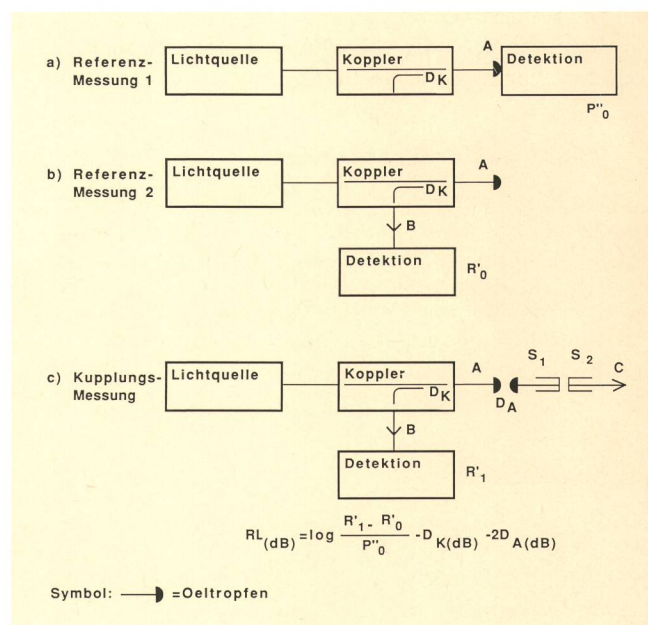


Fig. 2
Messung der Kupplungsrückflusdämpfung RL – Mesure du taux de réflexion d'une connexion RL
 Referenzmessung – Mesure de référence
 Lichtquelle – Source lumineuse
 Koppler – Coupleur
 Detektion – Détection
 Kupplungsmessung – Mesure de la connexion
 Symbol Öltropfen – Symbole d'une goutte d'huile

lung. Die Anschlusspunkte A und C müssen dabei reflexionsfrei sein. Dazu wird üblicherweise eine Index-Anpassungsflüssigkeit (z. B. Immersionsöl) verwendet.

3 Simultane Messanordnung

Die Messanordnung zur gleichzeitigen Ermittlung der Einfügungs- und Rückflusdämpfung einer Kopplung ist in *Figur 3* dargestellt. Der Lichtdurchgang durch die gemessene Kupplung (Prüfling) wird im Durchgangsarm des Richtkopplers mit dem Detektionssystem 1 gemessen. Gleichzeitig werden mit dem Detektionssystem 2 im Rückrichtungsarm des Richtkopplers die Reflexionen der gleichen Kupplung festgestellt. Zur Ermittlung der Einfügungs- und Rückflusdämpfung des Prüflings müssen noch folgende charakteristische Größen im voraus bestimmt werden:

- D_{KA} (dB) = Dämpfung des Kopplers von A_3 zu B und des Anschlusses A_4-A_3
- R_o (W) = Restrückstreuung des Richtkopplers
- P_o (W) = Strahlungsleistung am Ende des Steckers S_1

Die erwähnten Größen gelten als Eichkonstanten. Die Einfügungs- und die Rückflusdämpfung einer Kupplung werden folgendermassen ermittelt:

Einfügungsdämpfung:

$$D \text{ (dB)} = -10 \log \frac{P_1}{P_0} \quad (1)$$

Rückflusdämpfung:

$$RL \text{ (dB)} = -10 \log \frac{R_1 - R_0}{P_0} - D_{KA} \quad (2)$$

Es gibt grundsätzlich keine Differenz zwischen Mono- und Multimodemessungen. Es sind die Lichtquelle und der Richtkoppler, die jeweils ausgetauscht bzw. entsprechend angepasst werden müssen.

4 Wichtige Voraussetzungen

Welche Bedingungen müssen nun erfüllt werden, um präzise und zuverlässige Messungen zu garantieren? Man kann die Bedingungen wie folgt definieren:

- hohe Stabilität der Lichtquelle
- temperaturunabhängiges Kopplungsverhältnis des 3-dB-Richtkopplers

(mesure de référence 2) à son sens de voie arrière (point B). Pour terminer, on raccorde l'échantillon S_1-S_2 à examiner au point A et l'on mesure sa réflexion R'_1 à l'extrémité du sens de voie arrière (point B) (mesure du taux de réflexion).

L'intensité R'_1 rétrodiffusée, rapportée à l'intensité de référence P''_o , constitue après soustraction de la diffusion parasite de coupleur R'_o , des pertes de coupleur D_K et des pertes de raccordement D_A , le taux de réflexion proprement dit RL de ce connecteur. Les points de raccordement A et C doivent à cet égard être exempts de réflexion. A cet effet, on utilise habituellement un liquide d'adaptation d'indice (par exemple de l'huile d'immersion).

3 Dispositif de mesure simultané

La *figure 3* montre le dispositif de mesure servant à déterminer simultanément la perte d'insertion et le taux de réflexion d'une connexion. Le passage de la lumière à travers la connexion (échantillon) est mesuré dans le sens de voie directe du coupleur directionnel avec le système de détection 1. En même temps, on détermine avec le système de détection 2 les réflexions du même connecteur dans le sens de voie arrière du coupleur directionnel. Afin qu'il soit possible de mesurer la perte d'insertion et le taux de réflexion de l'échantillon, les grandeurs caractéristiques suivantes doivent encore être prédéterminées:

- D_{KA} (dB) = Atténuation du coupleur de A_3 vers B et du raccordement A_4-A_3
- R_o (W) = Rétrodiffusion parasite du coupleur directionnel
- P_o (W) = Puissance de rayonnement à l'extrémité de la fiche S_1

Ces grandeurs ont valeur de constantes d'étalonnage. La perte d'insertion et le taux de réflexion d'un connecteur sont déterminées de la manière suivante:

Perte d'insertion:

$$D \text{ (dB)} = -10 \log \frac{P_1}{P_0} \quad (1)$$

Taux de réflexion:

$$RL \text{ (dB)} = -10 \log \frac{R_1 - R_0}{P_0} - D_{KA} \quad (2)$$

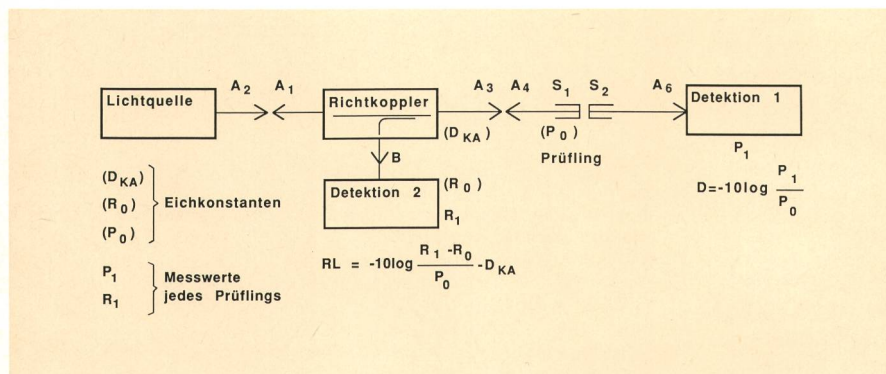


Fig. 3
Simultanes Messen von Kupplungseinfügungsdämpfung und -Rückflusdämpfung -
Mesure simultanée de la perte d'insertion et du taux de réflexion d'une connexion
 Lichtquelle - Source lumineuse
 Richtkoppler - Coupleur directionnel
 Prüfling - Echantillon
 Detektion - Détection
 Eichkonstanten - Constante d'étalonnage
 Messwerte jedes Prüflings - Valeur de mesure de chaque échantillon

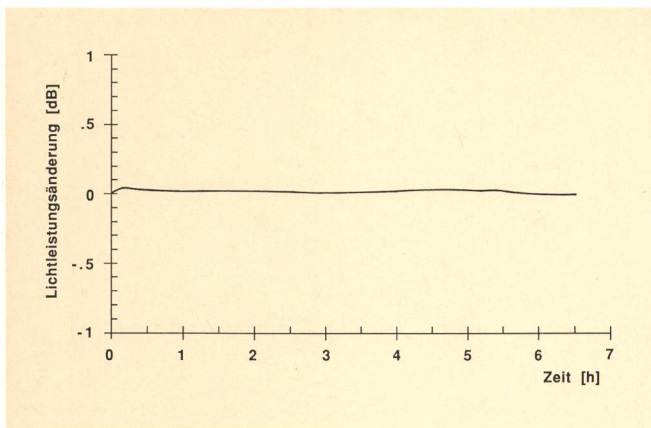


Fig. 5
Stabilität der Lichtquelle LG4 – Stabilité de la source lumineuse LG4
 Lichtleistungsänderung – Changement de la puissance lumineuse
 Zeit – Temps

42 3-dB-Richtkoppler

Lange Zeit hat man einen geeigneten Koppler gesucht, indem unterschiedliche Koppler verschiedener Hersteller genau untersucht wurden. Zwei wichtige Eigenschaften waren von Bedeutung: Erstens ein temperaturunabhängiges Kopplungsverhältnis (coupling ratio) und zweitens eine extrem hohe Übersprechdämpfung (minimale Restrückstreuung, directivity). In enger Zusammenarbeit mit der Schweizer Firma *Cabloptic*-Cortailod konnte ein solcher Faser-Richtkoppler entwickelt, getestet und mit Erfolg eingesetzt werden.

Figur 6 zeigt schematisch den Koppler und die erreichten Eigenschaften. *Figur 7* illustriert seine ausgezeichneten Eigenschaften.

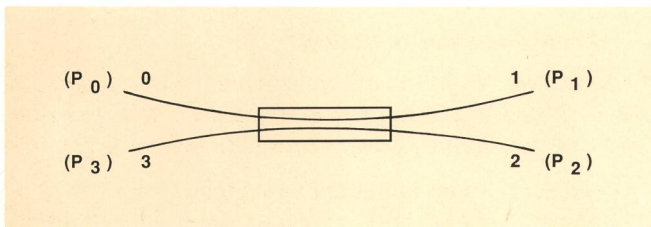


Fig. 6
3-dB-Monomode-Richtkoppler von Cabloptic-Cortailod – Coupleur directionnel monomode 3 dB de Cabloptic-Cortailod

Definitionen zur Kopplungsberechnung

Kopplungsverhältnis: (Lichtzuführung in 0)
 $CR = [I_2 / (I_2 + I_1)] \cdot 100 [\%]$

Da alle Koppler praktisch symmetrisch sind, kann irgendein Zugriffspunkt als Eingang benutzt werden.

Zusatzverlust: $L = -10 \log [(I_1 + I_2) / I_{in}] [dB]$

Richtfaktor: $D = -10 \log (I_3 / I_{in})$

Beispiel

Gemessene Werte Kopplungsfaktor $CR = 48 \% (\lambda = 1291 \text{ nm})$
 Zusatzverlust $L = 0,11 \text{ dB}$
 Richtfaktor $D = 60,15 \text{ dB}$

Définitions concernant le calcul de la connexion

Rapport de connexion: (incidence de la lumière dans 0)

$$CR = [I_2 / (I_2 + I_1)] \cdot 100 [\%]$$

Vu que les coupleurs sont pratiquement symétriques, on peut utiliser pratiquement n'importe quel point d'accès en tant qu'entrée.

Perte additionnelle: $L = -10 \log [(I_1 + I_2) / I_{in}] [dB]$

Rétrodiffusion parasite: $D = -10 \log (I_3 / I_{in})$

Exemple

Valeurs mesurée Rapport de couplage $CR = 48 \% (\lambda = 1291 \text{ nm})$
 Perte additionnelle $L = 0,11 \text{ dB}$
 Rétrodiffusion parasite $D = 60,15 \text{ dB}$

41 Source lumineuse

On a utilisé la source lumineuse LG 4, déjà développée à l'Entreprise des PTT. Un soin particulier a été apporté au choix du laser à semi-conducteur. Étaient importants à cet égard la stabilité optique du couplage de la photodiode et de la fibre au laser. La diode laser est stabilisée thermiquement à 20° environ par un élément Peltier. La puissance optique modulée (1 kHz, sinus) est également stabilisée à l'aide d'une contre-réaction. La *figure 4* montre le schéma global de cette source lumineuse, alors que la *figure 5* représente la courbe de stabilité mesurée. Les fluctuations d'intensité lumineuses se situent vers 0,02 dB...0,03 dB (après un temps de réchauffement d'une demi-heure environ).

42 Coupleur directionnel 3 dB

La recherche d'un coupleur approprié a été laborieuse, en ce sens qu'il a fallu examiner minutieusement divers produits de plusieurs fabricants. Deux propriétés importantes étaient essentielles: 1. rapport de couplage (coupling ratio) indépendant de la température et 2. affaiblissement diaphonique extrêmement élevé (rétrodiffusion minimale, directivity). Avec l'étroite collaboration de la maison suisse *Cabloptic*, à Cortailod, un tel coupleur directionnel pour fibres optiques a pu être développé, testé et mis en œuvre avec succès.

La *figure 6* montre schématiquement le coupleur et les propriétés atteintes. La *figure 7* illustre son excellente stabilité thermique. Pour des changements de température s'étendant de 0 °C à +50 °C, le rapport de couplage ne varie que de 1,4 %, c'est-à-dire d'environ 0,065 dB. Un inconvénient de ce coupleur est le fait que le rapport de couplage dépend de la longueur d'onde (*fig. 8*). Cette dépendance est cependant de nature fondamentale, étant donné que le couplage modal entre deux guides optiques voisins d'un coupleur est une fonction même de la longueur d'onde [4]. Cela signifie en pratique que si une autre source lumineuse de longueur d'onde différentes est utilisée, toutes les

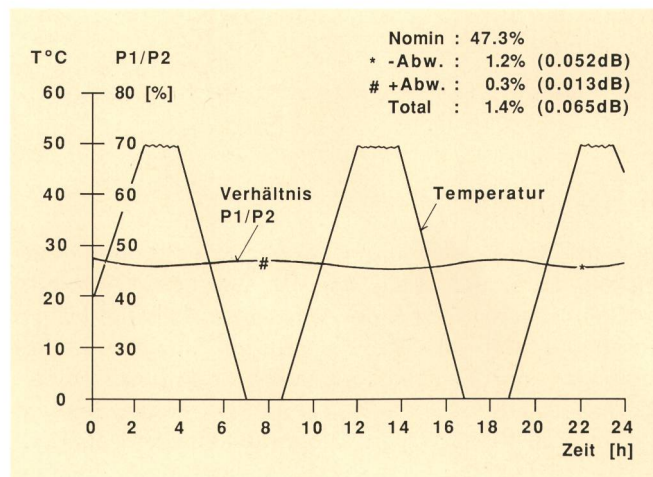


Fig. 7
Thermische Stabilität des Monomoderichtkopplers – Stabilité thermique du coupleur directionnel monomode

Nominal – Nominale
 Abweichung – Déviation
 Total – Total

Verhältnis – Rapport
 Temperatur – Température
 Zeit – Temps

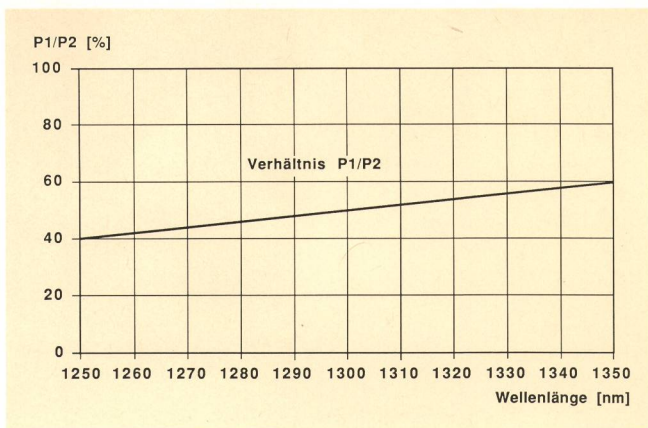


Fig. 8
Wellenlängenabhängigkeit des Monomoderichtkopplers – Dépendance de la longueur d'onde du coupleur directionnel monomode
Verhältnis – Rapport
Wellenlänge – Longueur d'onde

nete thermische Stabilität. Bei Temperaturänderungen zwischen 0 °C und +50 °C ändert sich das Kopplungsverhältnis um etwa 1,4 %, d. h. um 0,065 dB. Nachteilig bei diesem Koppler ist die Abhängigkeit seines Kopplungsverhältnisses von der Lichtwellenlänge (Fig. 8). Diese Abhängigkeit ist jedoch grundsätzlicher Natur, da die Moden-Kopplung zwischen zwei benachbarten Glasfaserwellenleitern eines Kopplers eine Funktion der Wellenlänge selber ist [4]. In der Praxis heisst das: Falls eine andere Lichtquelle mit einer anderen Wellenlänge verwendet wird, müssen alle Eichkonstanten neu ermittelt werden (neue Eichung der Apparatur).

Die Übersprechdämpfung des Kopplers erreichte dank einer sorgfältigen und präzisen Montage mehr als 60 dB.

43 Detektionssystem 1

Die Aufgabe des Detektionssystems 1 besteht darin, die Einfügungsdämpfung der zu messenden Kupplung mit einer guten Auflösung und Wiederholbarkeit zu erfassen. Die Empfindlichkeit des Systems ist dabei nicht so wichtig, da die zu erwartende Kupplungsdämpfung höchstens einige dB beträgt.

In der gewählten technischen Lösung, Figur 9, wurde eine grossflächige InGaAs-Fotodiode (Ø 3 mm) mit anschliessendem Transimpedanzverstärker und Digitalvoltmeter verwendet. Um das störende Umgebungslicht und die Dunkelstromschwankungen der Fotodiode zu eliminieren, wird in der ganzen Kette nur die Wechselstromkomponente des modulierten Signals verarbeitet. Mit dieser Anordnung konnten Auflösung, Stabilität und Wiederholbarkeit der Messungen in den Grenzen unter 0,05 dB gehalten werden.

44 Detektionssystem 2

Die Aufgabe des Detektionssystems 2 ist anders definiert. Im Vordergrund steht hier die sehr hohe Empfindlichkeit des Systems. Die gemessenen Rückflussignale einer Kupplung können bis zu 45 dB...50 dB und mehr abgeschwächt werden. Mit Vorteil wurde hier die Lock-

constants d'étalonnage doivent être redéfinies (nouvel étalonnage du banc d'essai).

Un montage soigneux et précis a permis d'atteindre un affaiblissement diaphonique du coupleur de plus de 60 dB.

43 Système de détection 1

Le système de détection 1 doit permettre de déterminer la perte d'insertion de la connexion à mesurer avec une bonne résolution et une bonne reproductibilité. La sensibilité du système n'est à cet égard pas très importante, vu que l'affaiblissement attendu d'une connexion mesurée ne s'élève qu'à quelques dB au plus.

Dans la solution technique choisie illustrée par la figure 9, on a utilisé une photodiode InGaAs de grande surface (Ø 3 mm) associée à un amplificateur à transimpédance et à un voltmètre numérique. Pour éliminer la lumière ambiante gênante et les fluctuations de courant d'obscurité de la photodiode, seule la composante à courant alternatif du signal modulé est traitée dans l'ensemble de la chaîne. Avec ce dispositif, il a été possible d'atteindre une résolution, une stabilité et une reproductibilité des mesures dans des limites inférieures à 0,05 dB.

44 Système de détection 2

En ce qui concerne le dispositif de détection 2, on exige en premier lieu une très haute sensibilité du système. Les signaux réfléchis mesurés d'une connexion peuvent être atténués de 45 dB...50 dB et plus. On a utilisé en l'occurrence la technique d'amplification «lock-in». La composante «lock-in» à courant alternatif du signal modulé est directement traitée par une photodiode InGaAs à faible surface avec fibres de couplage aux composants optiques («pigtail»). La plage dynamique du système de détection 2 ainsi atteinte est, pour la source lumineuse décrite ci-dessus, d'environ 90 dB pour un rapport signal/bruit de 1. Les conditions de mesure très stables se situent du point de vue pratique aux environs de 70 dB (S/N = 20 dB).

Remarque: Les deux systèmes de détection sont dotés à leur sortie d'un bus IEEE permettant leur raccordement direct à un ordinateur.

45 Raccordements exempts de réflexions

Les raccordements exempts de réflexions se sont révélés être les points les plus sensibles du concept de mesure global. La rétrodiffusion de tous les composants et points de raccordement de l'appareillage de mesure, surtout A₃-A₄ et A₆ (fig. 3), doit être absolument basse, par exemple > 10 dB...20 dB au-dessous des valeurs attendues de réflexion de l'échantillon S₁-S₂ lui-même. Dans ce qui suit, on montre quels moyens ont été mis en œuvre pour résoudre ce problème.

451 Adaptation d'indice

La technique de mesure conventionnelle du taux de réflexion repose sur l'emploi d'un liquide d'adaptation d'indice (huile d'immersion) en tant que média entre deux fibres raccordées ou sur l'emploi d'un «liquide de

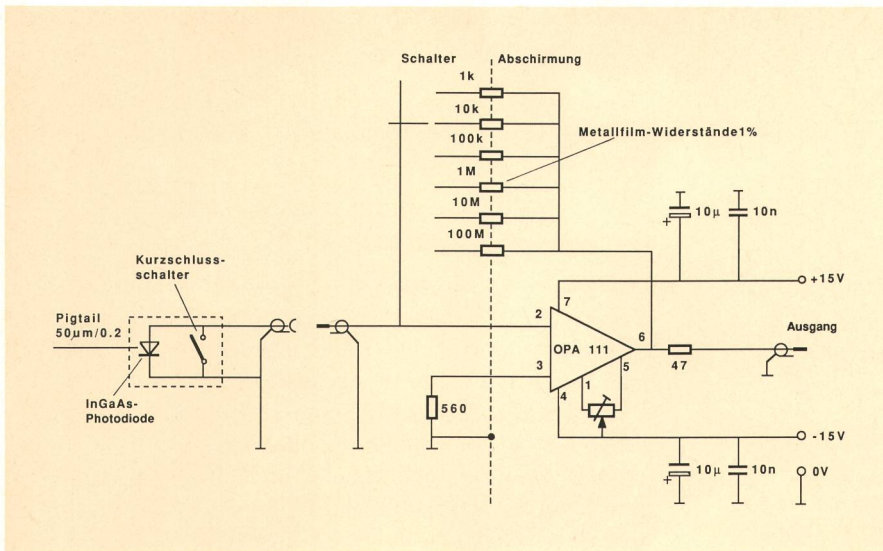


Fig. 9
Schema des Detektors – Schéma du détecteur
 Schalter – Commutateur
 Abschirmung – Blindage
 Metallfilm-Widerstände – Résistances à film métallique
 Kurzschluss-schalter – Commutateur de court-circuit
 Photodiode – Photodiode
 Ausgang – Sortie

in-Verstärkertechnik angewandt. Die Wechselstrom-Komponente des modulierten Signals wird dabei direkt von einer kleinflächigen InGaAs-Fotodiode mit einem Glasfaserpigtail (kurzes Faserstück zur Kopplung optischer Bauelemente) verarbeitet. Der so erreichte dynamische Bereich des Detektionssystems beträgt für die oben beschriebene Lichtquelle etwa 90 dB bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von 1. Die sehr stabilen Messverhältnisse liegen dann aus praktischer Sicht bei etwa 70 dB ($S/N = 20$ dB).

Bemerkung: Beide Detektionssysteme besitzen an ihren Ausgängen den IEEE-Bus, um den direkten Anschluss an einen Computer zu gewährleisten.

45 Reflexionsfreie Anschlüsse

Diese reflexionsfreien Anschlüsse haben sich als die hartnäckigste Schlüsselstelle des ganzen Messkonzepts erwiesen. Die Rückstreuung sämtlicher Komponenten und Anschlusspunkte der Messapparatur, vor allem A_4 und in A_6 (Fig. 3), muss nämlich unbedingt tief, z. B. > 10 dB...20 dB unter den zu erwartenden Rückflusswerten des Prüflings S_1-S_2 selber, liegen. Im folgenden wird gezeigt, mit welchen Mitteln dieses Problem gelöst werden kann.

451 Indexanpassung

Die konventionelle Rückflusdämpfungs-Messtechnik benutzt dazu eine Indexanpassungsflüssigkeit (Immersionöl) als das Medium zwischen zwei aneinander angeschlossenen Fasern oder als eine «Abschlussflüssigkeit», in die freie Faserenden getaucht werden.

Die senkrechte Reflexion R einer Lichtwelle an der Grenze zwischen zwei Medien hängt von deren Brechzahlen n_1 und n_2 ab:

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3)$$

Keine Reflexionen entstehen also nur dann, wenn $n_1 = n_2$. Bereits eine kleine «Fehlanspassung» beider Me-

terminaison» dans lequel les extrémités libres des fibres sont plongées.

La réflexion perpendiculaire R d'une onde lumineuse à la limite entre deux médias dépend de leurs indices de réfraction n_1 et n_2 :

$$R = \left(\frac{n_1 - n_2}{n_1 + n_2} \right)^2 \quad (3)$$

Le seul cas où aucune réflexion n'apparaît se présente lorsque $n_1 = n_2$. Il suffit d'une légère différence entre les deux médias pour qu'une réflexion non négligeable en résulte. Ainsi, pour obtenir un taux de réflexion supérieur à 65 dB, il a fallu que la différence entre les indices de réfraction des deux médias soit inférieur à 1 ‰.

Il est malheureusement pratiquement impossible de trouver un liquide d'adaptation correspondant de manière idéale à une fibre optique. La raison en réside dans le fait qu'aucune fibre optique réelle ne possède un profil d'indice parfaitement constant dans la région du cœur. Au contraire, l'indice de réfraction en un point quelconque du cœur est une fonction de la distance par rapport au centre du cœur (profil d'indice). En outre, la lumière est en partie conduite par la gaine (évanescence field). La conséquence en est que l'on doit trouver un «liquide à propriétés moyennes» pour lequel les réflexions peuvent être minimisées.

A cet effet, on a examiné diverses substances huileuses. Une fibre à cassure plane a été plongée dans divers liquides et les réflexions ont été enregistrées. Des courbes typiques (pour des fibres monomodes et multimodes) sont représentées à la figure 10.

Divers liquides, A à I – leurs indices de réfraction ont été mesurés vers la ligne D ($\lambda = 589$ nm) – donnent lieu à des réflexions de valeurs différentes. Le meilleur résultat a été atteint par l'huile de paraffine dont l'indice de réfraction $N_D^{20} = 1,4666$. La longueur d'onde, pour laquelle les réflexions ont été mesurées, était proche de 1300 nm. Le taux de réflexion des extrémités de fibres plongées dans ces liquides était d'environ 54 dB – c'est-à-dire suffisamment bon pour que les réflexions des

dien hat jedoch eine nicht vernachlässigbare Reflexion zur Folge. So müssten sich die Brechzahlen beider Medien beispielsweise um weniger als 1 ‰ unterscheiden, um eine Rückflussdämpfung von mehr als 65 dB zu erreichen.

Leider ist es praktisch unmöglich, eine Anpassungsflüssigkeit zu finden, die einer Glasfaser ideal entspricht. Der Grund dafür liegt darin, dass keine reelle Glasfaser ein Indexprofil mit einem absolut konstanten Verlauf im Kernbereich hat. Vielmehr ist die Brechzahl an einem beliebigen Punkt des Kerns eine Funktion des Abstandes von der Kernmitte (Indexprofil). Zudem wird das Licht teilweise auch durch den Mantel geführt (evanescent field). Dies alles hat zur Folge, dass man nur eine «Durchschnittsflüssigkeit» finden kann, bei der sich die Reflexionen minimalisieren lassen.

Man hat deshalb verschiedene ölarartige Substanzen untersucht. Eine flach gebrochene Faser wurde bei diesen Versuchen in verschiedene Flüssigkeiten getaucht, und die dabei jeweils auftretenden Reflexionen wurden registriert. Typische Kurven (für Mono- und Multimodefasern) sind in *Figur 10* dargestellt.

Verschiedene Flüssigkeiten, A bis I – ihre Brechzahlen sind bei der Linie D ($\lambda = 589 \text{ nm}$) und bei 20° C gemessen – bewirken unterschiedliche Reflexionen. Das beste Ergebnis zeitigte Vaselinöl mit der Brechzahl $n_D^{20} = 1,4666$. Die Wellenlänge, bei der die Reflexionen gemessen wurden, lag freilich bei 1300 nm . Die Rückflussdämpfung der in diese Flüssigkeit getauchten Faserenden betrug etwa 54 dB – gut genug, um nun die Reflexionen der gemessenen Kupplungen von etwa $8 \text{ dB} \dots 45 \text{ dB}$ messen zu können.

452 Faserenden

Es hat sich im Laufe der Arbeiten herausgestellt, dass die Qualität der Stirnfläche eines Faserendes ebenfalls einen Einfluss auf die Reflexionen der Anschlusspunkte und somit auf die gesamte Genauigkeit des Messvorgangs hat. Es sind vor allem der Winkel der Stirnfläche zur Faserachse sowie die Stirnflächenbeschaffenheit von Bedeutung.

Betrachten wir nun die Reflexionsverhältnisse einer nicht senkrechten Faserstirnfläche einer Monomodefaser: Der unter einem gewissen Winkel zur Faserachse zurück in die Faser reflektierte Grundmode wird nicht mehr als ein im Kern geführter Mode betrachtet. Seine Reflexion R_Φ wird um den Moden-Kopplungsgrad $C(\Phi)$ abgeschwächt:

$$R_\Phi = R \cdot C(\Phi) \quad (4)$$

Der Kopplungsgrad eines solchen reflektierten Gauss'schen Strahls kann mit Hilfe des Überlappungsintegrals berechnet werden [5, 6]. Man erhält:

$$C(\Phi) = e - \left(\frac{\pi^2 n_2 w_0 \Phi}{180 \cdot \lambda} \right)^2 \quad (5)$$

connexions entrant en considération d'environ $8 \text{ dB} \dots 45 \text{ dB}$ puissent être mesurées.

452 Extrémités des fibres

Au cours des travaux, il s'est révélé que la qualité de la face d'extrémité d'une fibre avait également une influence sur les réflexions des points de raccordement et, de ce fait, sur la précision globale de la mesure. Ce sont avant tout l'écart de perpendicularité ainsi que l'état de la surface de coupe qui sont importantes.

Si l'on considère les conditions de réflexion de l'extrémité non perpendiculaire d'une fibre monomode, on s'aperçoit que le mode fondamental réfléchi à nouveau dans l'axe de la fibre l'est sous un certain angle par rapport à l'axe longitudinal et ne peut plus être considéré comme un mode guidé par le cœur. Sa réflexion R_Φ est atténuée du degré de couplage de mode $C(\Phi)$:

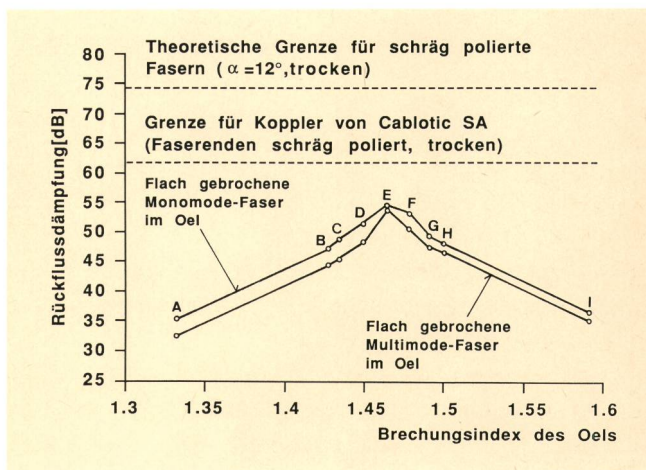


Fig. 10
Verschiedene Antireflexionsmassnahmen – Diverses dispositions contre les réflexions

Anpassungsflüssigkeiten:

- A = Wasser
- B = Adipinsäuredimethylester
- C = Myristinsäureisopropylester
- D = Immersionsöl 1 (Cabloptic SA)
- E = Vaselinöl 1a dünn, Grogg
- F = Gemisch 40 % Adipinsäureester
60 % Phthalsäureester
- G = Oppanol B3 (Gel Radiall)
- H = Immersionsöl 2 (Cabloptic SA)
- I = Immersionsöl (Zeiss)

Brechungsindex:

- $n_D^{20} = 1,3332$
- $n_D^{20} = 1,4284$
- $n_D^{20} = 1,4349$
- $n_D^{20} = 1,4502$
- $n_D^{20} = 1,4666$
- $n_D^{20} = 1,4792$
- $n_D^{20} = 1,4910$
- $n_D^{20} = 1,5001$
- $n_D^{20} = 1,5935$

Liquides d'adaptation d'indice:

- A = Eau
- B = diéthylester d'acide adipique
- C = ester isopropyl d'acide myristique
- D = huile d'immersion 1 (Cabloptic SA)
- E = huile de paraffine extra fluide, Grogg
- F = mesure 40 % ester d'acide adipique
60 % ester d'acide phthalique
- G = Oppanol B3 (Gel Radiall)
- H = huile d'immersion 2 (Cabloptic SA)
- I = huile d'immersion (Zeiss)

Indice de réfraction:

- $n_D^{20} = 1,3332$
- $n_D^{20} = 1,4284$
- $n_D^{20} = 1,4349$
- $n_D^{20} = 1,4502$
- $n_D^{20} = 1,4666$
- $n_D^{20} = 1,4792$
- $n_D^{20} = 1,4910$
- $n_D^{20} = 1,5001$
- $n_D^{20} = 1,5935$

Theoretische Grenze für schräg polierte Fasern (trocken) – Limite théorique pour fibres à polissage oblique (méthode sèche)

Grenze für Koppler von Cabloptic (Faserenden schräg poliert, trocken) – Limite pour coupleurs de Cabloptic (extrémité de fibres à polissage oblique, méthode sèche)

Flach gebrochene Monomode-Faser im Öl – Fibre monomode à cassure plane dans l'huile

Flach gebrochene Multimode-Faser im Öl – Fibre multimode à cassure plane dans l'huile

Brechungsindex des Öls – Indice de réfraction de l'huile

Rückflussdämpfung – Taux de réflexion

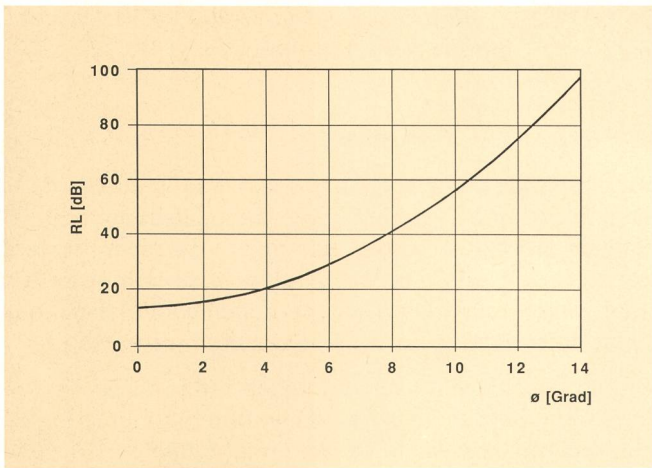


Fig. 11 Rückflussdämpfung RL eines Faserendes in Funktion des Winkels Φ zwischen der Faserstirnfläche und Faserachse (Monomodefaser) – Taux de réflexion RL d'une extrémité de fibres en fonction de l'angle Φ entre la face et l'axe de la fibre (fibre monomode) Grad – Degré

Die entsprechende Rückflussdämpfung RL nimmt dann folgende Form an:

$$RL_{(dB)} = -10 \log \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 e^{-\left(\frac{\pi^2 n_2 w_0 \Phi}{180 \cdot \lambda} \right)^2} \quad (6)$$

wobei w_0 der Modenfeldradius des Faserkerns, Φ der Winkel der Faserstirnfläche zur Faserachse und λ die Lichtwellenlänge sind.

Für $n_2 = 1,465$ (Faserkern), $n_1 = 1$ (Luft), $w_0 = 5 \mu\text{m}$ und $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$ kann die Abhängigkeit 4) in Form einer Kurve, (Fig. 11) dargestellt werden.

Indirekt können nun anhand der gemessenen Rückflussdämpfung eines Faserendes und der Kurve in Figur 11 Aufschlüsse darüber erhalten werden, wie gut beispielsweise ein Faserbrechgerät arbeitet bzw. wie gross der Winkel einer Faserstirnfläche ist, vorausgesetzt, dass diese Fläche selber glatt ist und keine zusätzlichen Brechzahländerungen verursacht [7]. In der Praxis wird diese Bedingung meistens erfüllt.

So liefert z. B. das Faserbrechgerät CT-03 von Fujikura bessere Brechergebnisse an Fasern als das Gerät CT-02 der gleichen Firma (s. Hist. 1 und 2 in Fig. 12). Die minimale Rückflussdämpfung von $\sim 14,5$ dB entspricht dem 0° -Winkel. Die erzielte maximale Rückflussdämpfung (beim Gerät CT-02) von etwa 16,5 dB entspräche effektiv einem Winkel von etwa 2° . Die mit Aluminium- und Ceriumoxyd polierten Faserstirnflächen (s. Hist. 3 und 4 in Fig. 12), weisen etwa gleiche Qualität auf.

Welche Rückflussdämpfung weisen solche Faserenden auf, wenn sie nun in Vaselineöl getaucht werden? Die Antwort geht aus Figur 13 hervor. Fünf verschiedene Verfahren in der Faserendpräparierung werden hier miteinander verglichen. Die grösste Rückflussdämpfung erhält man mit Faserenden, die mit Hilfe eines Schneidwerkzeugs hergestellt werden (etwa 54 dB, Hist. 1). Es folgen dann Fasern poliert mit dem Ceriumoxyd (etwa 45 dB, Hist. 2) und mit dem Aluminiumoxyd (etwa 42 dB, Hist. 3). Die durch Seiko polierten Stecker liegen bei

$$R_\Phi = R \cdot C(\Phi) \quad (4)$$

Le degré de couplage d'un tel rayon gaussien réfléchi peut être mesuré à l'aide de l'intégrale de recouvrement [5, 6]. On obtient:

$$C(\Phi) = e^{-\left(\frac{\pi^2 n_2 w_0 \Phi}{180 \cdot \lambda} \right)^2} \quad (5)$$

Le taux de réflexion correspondant RL prend alors la forme suivante:

$$RL_{(dB)} = -10 \log \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 e^{-\left(\frac{\pi^2 n_2 w_0 \Phi}{180 \cdot \lambda} \right)^2} \quad (6)$$

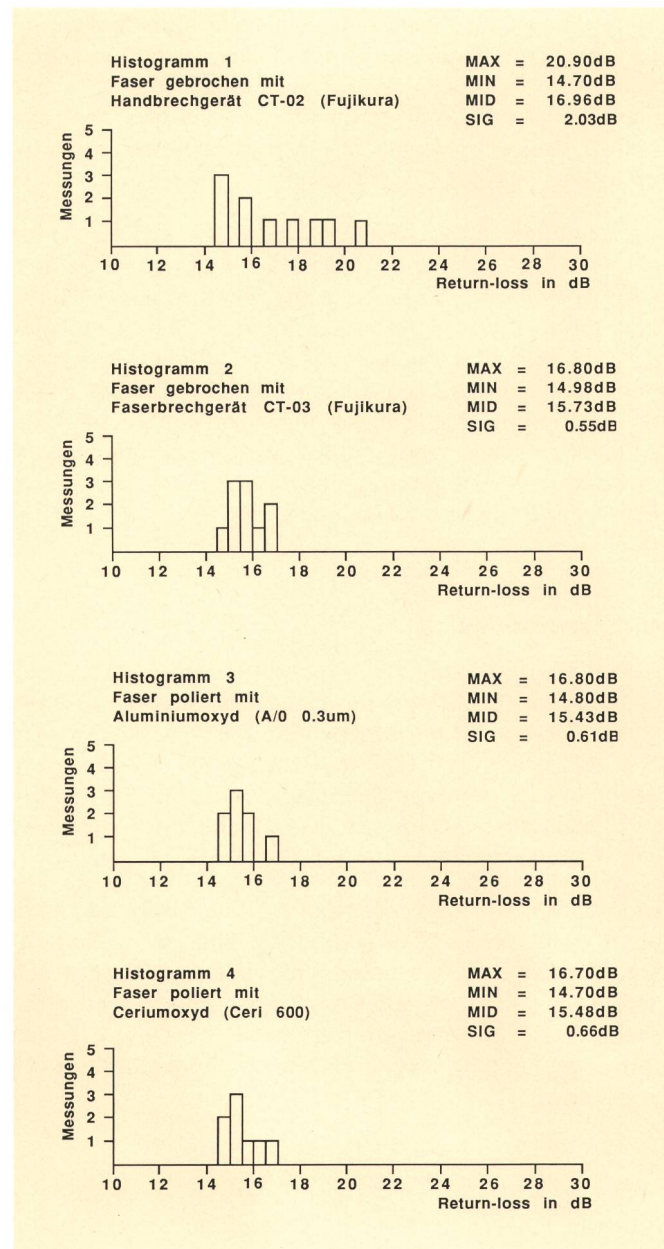


Fig. 12 Rückflussdämpfung eines Faserendes (trocken) – Taux de réflexion d'une extrémité de fibre (sèche) Histogramm – Histogramme

Faser gebrochen mit Handbrechgerät – Fibre cassée avec un appareil à casser les fibres manuellement
Faserbrechgerät – Appareil à casser les fibres semi-automatiquement
Faser poliert mit Aluminiumoxyd – Fibre polie à l'oxyde d'aluminium
Messungen – Mesures

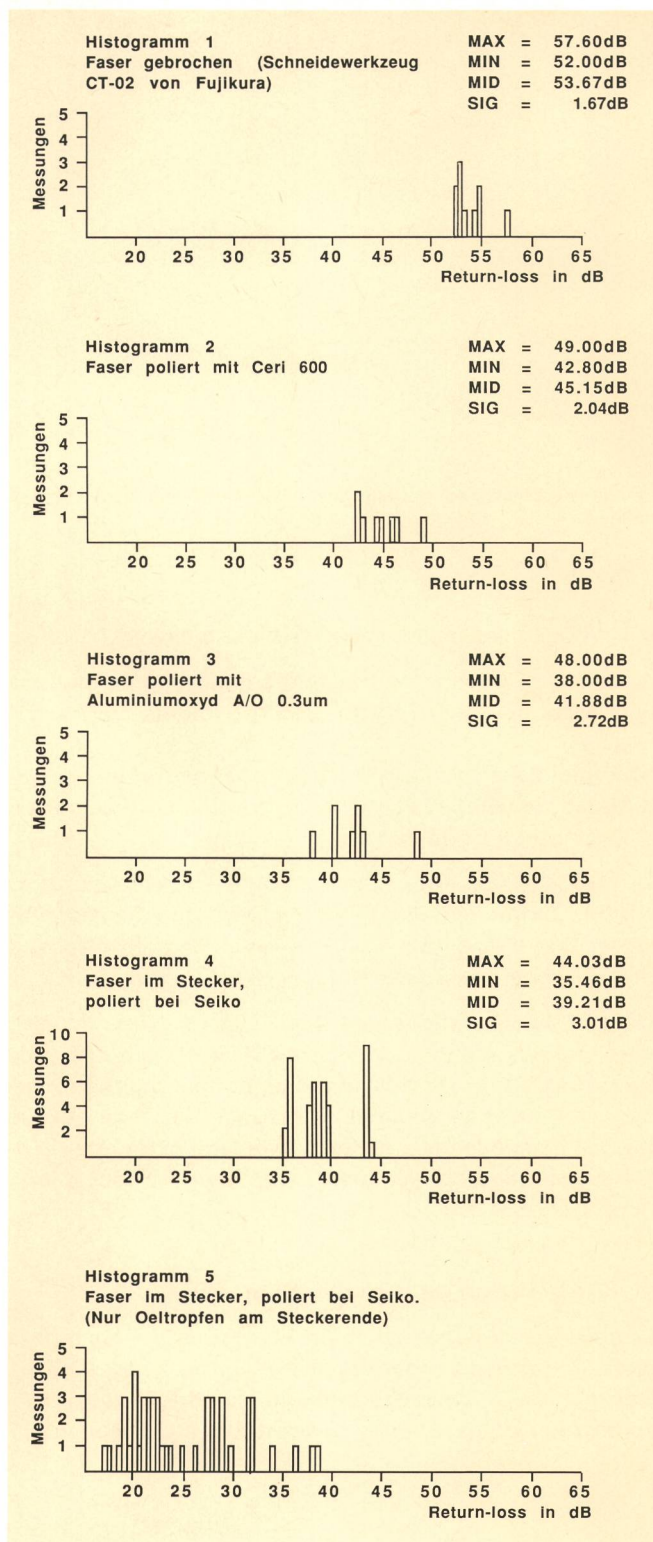


Fig. 13
 Rückflussdämpfung eines Faserendes (in Vaselineöl getaucht) – Taux de réflexion d'une extrémité de fibre (plongée dans l'huile de paraffine)
 Histogramm – Histogramme
 Faser gebrochen (Schneidewerkzeug) – Fibre cassée (appareil à casser les fibres)
 Faser poliert mit Ceri 600 – Fibre polie avec Ceri 600
 Faser im Stecker poliert bei Seiko – Fibre dans connecteur, polie par Seiko
 Faser poliert mit Aluminiumoxyd – Fibre polie à l'oxyde d'aluminium
 Messungen – Mesures

etwa 40 dB, Hist. 4. Interessant sind die grosse Streuung (16 dB...34 dB) und die verhältnismässig tiefen Rückflussdämpfungswerte, wenn der gemessene Stecker

où: w_0 est le rayon de champ modal du cœur de la fibre, Φ = l'angle de la face de la fibre par rapport à son axe et λ = la longueur d'onde de la lumière.

Pour $n_2 = 1,465$ (cœur de la fibre), $n_1 = 1$ (air), $w_0 = 5 \mu\text{m}$ et $\lambda = 1,3 \mu\text{m}$, la dépendance 4) peut être représentée sous la forme d'une courbe (fig. 11).

Indirectement, on peut, à l'aide du taux de réflexion mesuré d'une extrémité de fibre et de la courbe de la figure 11, obtenir des indications sur la qualité, par exemple d'un appareil à casser les fibres ou sur l'écart de perpendicularité d'une face de fibre, à condition que cette surface soit très plane et qu'elle n'entraîne pas des modifications supplémentaires de l'indice de réfraction [7]. En pratique, cette condition est généralement remplie.

Ainsi, l'appareil à casser les fibres CT-03 de Fujikura donne de meilleurs résultats que l'appareil CT-02 de la même firme (voir histogrammes 1 et 2 de la fig. 12). Le taux de réflexion minimal de $\sim 14,5$ dB correspond à l'angle de 0° . Le taux de réflexion maximal atteint (pour l'appareil CT-02) d'environ 16,5 dB correspondrait effectivement à un angle d'environ 2° . Les faces de fibre polies à l'aide d'oxyde d'aluminium et d'oxyde de cérium (voir histogrammes 3 et 4 de la fig. 12) sont approximativement de même qualité.

Quels sont les taux de réflexion de telles extrémités de fibres lorsqu'on les plonge dans de l'huile de paraffine? La réponse est fournie par la figure 13. Cinq procédés de préparation différents de l'extrémité des fibres ont été comparés les uns après les autres. Le taux de réflexion le plus élevé a été atteint avec des extrémités de fibres obtenues à l'aide d'un appareil à casser les fibres (environ 54 dB, histogramme 1). Suivent les fibres polies à l'oxyde de cérium (environ 45 dB, histogramme 2) et à l'oxyde d'aluminium (environ 42 dB, histogramme 3). Les valeurs obtenues avec les fibres polies par Seiko se situent vers 40 dB, histogramme 4. Il est intéressant de constater les fortes dispersions (de 16 dB...34 dB) et les taux de réflexion relativement bas, lorsque les fibres à mesurer ne sont pas immergées dans le liquide, mais que l'on a simplement «déposé» une goutte d'huile à leur extrémité (histogramme 5 de la fig. 13).

453 Polissage oblique

Tous les travaux recourant à l'huile de paraffine très fluide n'ont posé aucun problème extraordinaire, mais il fallait sécher toutes les fibres à la fin de chaque mesure. Ce nettoyage final laborieux ne fut pas une tâche agréable.

C'est la raison pour laquelle on a recherché une «solution sèche» pour les connexions exemptes de réflexions. L'idée d'utiliser à cet effet des fibres à polissage oblique avait déjà été émise lors de l'emploi des connecteurs à polissage oblique offerts sur le marché, à savoir les types Optaball DF de Lemo/Radial [5, 7]. La confirmation théorique du bien-fondé de la méthode ressort de la figure 11. Une fibre polie à un angle de 12° , par exemple, a un taux de réflexion de 74 dB.

nicht in die Flüssigkeit getaucht wird, sondern nur ein Öltropfen an seinem Ende «angehängt» wird (Hist. 5 in Fig.13).

453 Schrägschliff

Sämtliche Arbeiten mit dem dünnflüssigen Vaselineöl verursachten zwar keine ausserordentlichen Probleme, doch mussten zum Schluss alle ausgemessenen Stecker immer wieder getrocknet werden. Diese aufwendige Schlussreinigung vom Öl war keine angenehme Angelegenheit.

Man hat deshalb nach «trockenen Lösungen» für reflexionsfreie Anschlüsse gesucht. Die Idee, schrägpolierte Fasern dazu zu verwenden, kam bereits in Zusammenhang mit den kommerziell erhältlichen schrägpolierten Steckern, Typ Optaball DF von Lemo/Radial, zustande [5, 7]. Die entsprechende theoretische Bestätigung liefert Figur 11. Eine z. B. unter einem Winkel von 12° schräg polierte Faser hat eine Rückflusdämpfung von 74 dB zur Folge.

Zwei Realisierungsmöglichkeiten stehen dabei zur Verfügung: Die Anwendung

- a) der vorerwähnten schrägpolierten Stecker, vor allem für sämtliche Apparateanschlüsse, oder
- b) der in Zusammenarbeit mit der Cabloptic-Cortaillod speziell dazu entwickelten *Ferrule* mit einem Schrägschliff.

Die Montage beider Elemente an Faserenden ist sehr einfach und hat sich in der Praxis gut bewährt. Sie sind zusammen mit den Poliervorrichtungen in *Figur 14* dargestellt.

Zusätzlich zu den bereits besprochenen Einflüssen verschiedener Index-Anpassungsflüssigkeiten veranschaulicht *Figur 10* die gemessenen Ergebnisse der Rückflusdämpfung eines Richtkopplers mit sämtlichen schrägpolierten Faserenden (61 dB) sowie jene eines schrägpolierten Faserendes allein als theoretische Grenze (74 dB).

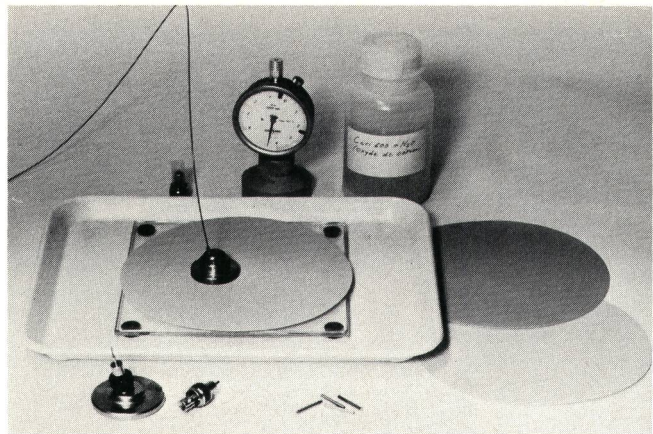


Fig. 14
Ferrule und Stecker mit Schrägschliff – Ferrule et fiche avec polissage oblique

Il y a deux possibilités de réalisation, à savoir:

- a) utilisation de la fiche précitée à polissage oblique, en premier lieu pour tous les raccordements d'appareils ou
- b) emploi de la *ferrule* avec un polissage oblique, spécialement développée avec la collaboration de la maison Cabloptic à Cortaillod.

Le montage des deux éléments à l'extrémité des fibres est très simple et a donné de bons résultats dans la pratique. Ces éléments sont représentés avec le dispositif de polissage à la *figure 14*.

De pair avec les influences décrites des divers liquides d'adaptation d'indice, la *figure 10* illustre les résultats mesurés du taux de réflexion d'un coupleur directionnel avec toutes les extrémités de fibres à polissage oblique (61 dB) ainsi que ceux obtenus avec une extrémité de fibre à polissage oblique sans connecteur en tant que limite théorique (74 dB).

5 Réalisation de la place de mesure

Le coupleur directionnel choisi et approprié a été monté dans un dispositif séparé appelé «module RL 1» (*fig. 15*). Deux raccordements optiques pour la périphérie A₁ et A₃ sont exécutés en tant que connecteurs à polissage obli-

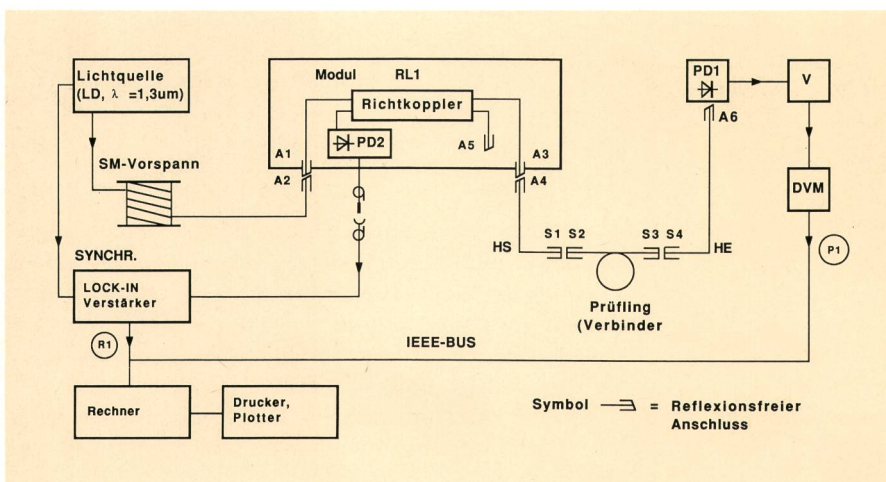


Fig. 15
Messplatz zur simultanen Messung von Einfügungs- und Rückflusdämpfung an optischen Steckern. Anordnung Monomodeversion für «trockene» Verbinder, MVT – Place de mesure pour la mesure simultanée de la perte d'insertion et du taux de réflexion dans des connecteurs optiques. Dispositif pour version monomode de connecteur «sec» MVT
Lichtquelle – Source lumineuse
SM-Vorspann – Fibre amorce SM
Verstärker – Amplificateur
Rechner – Calculateur
Richtkoppler – Coupleur directionnel
Drucker, Plotter – Imprimante, table traçante
Prüfling (Verbinder) – Echantillon (connecteur)
Symbol, reflexionsfreier Anschluss – Symbole, raccordement exempt de réflexion
Synchronisation – Synchronisation

5 Verwirklichung des Messplatzes

Der ausgewählte geeignete Richtkoppler wurde in ein separates Gerät, «Modul RL 1» genannt, untergebracht (Fig. 15). Zwei optische Peripherieanschlüsse A_1 und A_3 sind als schrägpolierte Stecker ausgeführt. Im gleichen Gehäuse befindet sich auch der empfindliche Fotodiodeanteil des Detektionssystems 2. Seine BNC-Ausgangsbuchse dient als Anschluss an einen Lock-in-Verstärker. Der letzte, reflexionsfreie Koppleranschluss A_5 wird mit einer schrägpolierten Ferrule versehen. Figur 16 zeigt das Modul RL.

Der gesamte Messplatz besteht zusätzlich aus einer Lichtquelle (LG 4) mit einem Vorspann, einem Lock-in-Verstärker (EG&G 5381), einem Detektionssystem 1 (Fotodiode, Verstärker und Digitalvoltmeter) und einem Computer (HP 85) für Datenerfassung und -verarbeitung (Titelbild).

Die verwendeten Elemente:

- Richtkoppler Typ «Monomode-Fix» von Cabloptic-Cortailod
- schrägpolierte Stecker Typ Optaball DF von Lemo/Radial
- schrägpolierte Ferrule Typ «Ferrule Ø 2,5 mm spec.» von Cabloptic-Cortailod
- Laserdiode Typ QLM 1300 SM von Lasertron, Inc.
- Fotodiode 1 InGaAs, Ø 3 mm. Typ ETX 3000 T5 von Epitaxx, Inc.
- Fotodiode 2 InGaAs, Pigtail. Typ ETX 100 F von Epitaxx, Inc.

6 Technische Spezifikationen

Bei Verwendung der schrägpolierten «trockenen» Anschlüsse und Faserenden ist der dynamische Messbereich durch die Eigenschaften des ausgewählten Richtkopplers begrenzt. Der Messbereich der «nassen» Version dagegen ist von den Eigenschaften des Glas-Öl-Übergangs bestimmt. Aus der praktischen Erfahrung können folgende Parameter der Messapparatur für Monomodestecker abgeleitet werden (Tab. I):

Tabelle I. Parameter der PTT-Messapparatur

Parameter (für SM Faser)	«Trockene» Version	«Nasse» Version
A-Rückflussdämpfung		
- Dynamischer Bereich: (für S/N = 5 dB)	55 dB	40 dB max
- Auflösung:	0,2 dB	0,2 dB
- Genauigkeit (Wiederholbarkeit):	± 0,5 dB	± 1 dB
B-Einfügungsdämpfung		
- Auflösung:	< 0,02 dB	< 0,02 dB
- Genauigkeit (Wiederholbarkeit):	± 0,025 dB	± 0,025 dB
- Dynamischer Bereich: (für S/N = 10 dB)	40 dB min	40 dB min
C-Anschlüsse:	12° schrägpoliert (Stecker oder Ferrule)	Flachpoliert und Vaselinöl (Stecker)

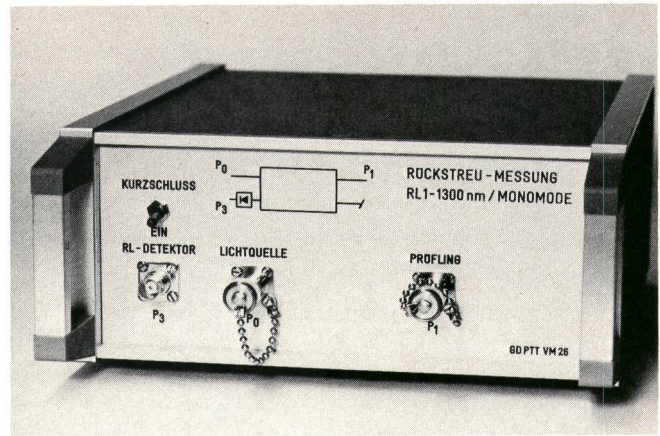


Fig. 16
Modul RL - Module RL

que. Dans le même boîtier se trouve également la partie sensible de la photodiode du système de détection 2. La prise de sortie BNC sert de raccordement à un amplificateur «lock-in». Le dernier raccordement de couplage exempt de réflexion A_5 est muni d'une ferrule à polissage oblique. La figure 16 montre le module RL.

L'ensemble du banc de mesure comprend en plus une source lumineuse (LG4) avec une fibre amorce, un amplificateur «lock-in» (EG&G 5381), un système de détection 1 (photodiode, amplificateur et voltmètre numérique) ainsi qu'un ordinateur (HP 85) pour la saisie et le traitement des données (Couverture).

- Coupleur directionnel Type «monomode fixe» de Cabloptic-Cortailod
- Fiche à polissage oblique Type Optaball DF de Lemo/Radial
- Ferrule à polissage oblique Type «Ferrule Ø 2,5 mm spec.» de Cabloptic-Cortailod
- Diode laser Type QLM 1300 SM de Lasertron, Inc.
- Photodiode 1 InGaAs, Ø 3 mm, type ETX 3000 T5 de Epitaxx, Inc.
- Photodiode 2 InGaAs, Pigtail, type ETX 100 F de Epitaxx, Inc.

6 Spécifications techniques

La plage de mesure dynamique en cas d'utilisation des raccordements et des extrémités de fibres à polissage oblique «sec» est limitée par les propriétés du couplage directionnel choisi. La version «mouillée», en revanche, est déterminée par les propriétés de la transition verre-huile. Les expériences pratiques ont permis de dériver les paramètres suivants du banc de mesure pour fiche monomode (tab. I):

Comparaison avec deux appareils vendus dans le commerce:

- | | | |
|--------------------|---------|---------|
| - Fibres utilisées | MM | SM |
| - Plage dynamique | ≤ 40 dB | 0-35 dB |
| - Résolution | - | - |
| - Précision. | 1 dB | ± 1 dB |

Vergleich mit zwei kommerziell erhältlichen Geräten:

– Verwendete Faser:	MM	SM
– Dynamischer Bereich:	≤ 40 dB	0–35 dB
– Auflösung:	—	—
– Genauigkeit:	1 dB	± 1 dB

Bemerkung zu diesen Geräten:

- nur für Rückflussdämpfungsmessungen
- nur mit Immersionsöl: «nasse» Version.

7 Anwendungsversionen des Messplatzes

Im Laufe der Messarbeiten wurden verschiedene Messversionen erprobt. In *Figur 17* wird jeweils nur ein Ausschnitt aus *Figur 15* gezeigt, um einzelne Anschlussmöglichkeiten des Prüflings besser darstellen zu können. Aus praktischer Sicht haben sich folgende Messanordnungen gut bewährt:

71 Messungen an optischen Verbindern, «trocken» (Methode MVT)

Die Messanordnung ist in *Figur 15*, bzw. *Figur 17a*, dargestellt. Die Methode ist das Ergebnis vieler Versuche und Erfahrungen bei den PTT. Sie wurde unter folgenden Voraussetzungen entwickelt:

- Die Methode ist vor allem geeignet für Messungen an optischen *Verbindern*. Man rechnet also damit, dass in Zukunft nur solche bestellt werden. Durch einfaches Halbieren des Verbinders entstehen, falls erwünscht, zwei Stecker mit Pigtails. Ein Verbinder (Prüfling) wird in diesem Falle zwischen zwei Hilfsfasern HS (sendeseitig) und HE (empfangsseitig) angeschlossen.
- *Kein Indexanpassungsmedium* ist für die vorgesehenen Messungen notwendig. Sämtliche Messoperationen verlaufen im «trockenen» Zustand.
- Die Messung ist sehr einfach und deshalb für die *Serien-Eingangskontrolle* sehr gut geeignet. Es werden freilich die Einfügungsdämpfung und die Rückflussdämpfung *zweier* in Serie geschalteter Kupplungen gemessen. Für eine schnelle Eingangskontrolle reicht es, nachher ein Kriterium festzulegen, dass z. B. die Einfügungsdämpfung beider Kupplungen kleiner als 0,6 dB und die Rückflussdämpfung grösser als 27 dB sein muss.
- Beide Messgrößen können mit der gleichen Apparatur selbstverständlich auch *getrennt* gemessen werden.

72 Messungen an Verbindern, «nass» (Methode MVN)

Die Messanordnung ist aus *Figur 17b* ersichtlich. Diese modifizierte Methode erlaubt die Einfügungs- und Rückflussdämpfung nur eines Steckerübergangs S_1-S_2 (oder S_1-S_3) zu messen. Das andere Ende des gemessenen Verbinders S_3 (oder S_2) wird für Dämpfungsmessungen direkt an den Detektor PD 1 angeschlossen, Schritt I. Im Schritt II, für Rückflussdämpfungsmessungen, wird dieses Ende in eine Indexanpassungsflüssigkeit (Vaselinöl) getaucht. Mit dieser Methode können die Eigenschaften

Tableau I. Paramètres du banc de mesure des PTT

Paramètres (pour fibres SM)	Version «sèche»	Version «mouillée»
Taux de réflexion A		
– Plage dynamique: (pour S/N = 5 dB)	55 dB	40 dB max
– Résolution:	0,2 dB	0,2 dB
– Précision (reproductibilité):	± 0,5 dB	± 1 dB
Perte d'insertion B		
– Résolution:	< 0,02 dB	< 0,02 dB
– Précision (reproductibilité):	± 0,025 dB	± 0,025 dB
– Plage dynamique: (pour S/N = 10 dB)	40 dB min	40 dB min
Raccordements C:	Polissage oblique 12° (connecteur ou ferrule)	Polissage plan et huile de paraffine (connecteur)

Remarque concernant ces équipements:

- Seulement pour mesures de taux de réflexion
- Seulement avec huile d'immersion: version «mouillée».

7 Versions d'application de la place de mesure

Au cours des travaux de mesure, divers procédés ont été testés. La *figure 17* ne montre qu'un extrait de la *figure 15*, permettant de mieux représenter les diverses possibilités de raccordement de l'échantillon. Du point de vue pratique, les dispositifs de mesure suivants ont fait leurs preuves:

71 Mesure «sèche» de cordons optiques (Méthode MVT)

Le dispositif de mesure est représenté à la *figure 15* et la *figure 17a* pour le détail. La méthode est le résultat de nombreuses recherches et essais des PTT. Le développement s'est accompli dans les conditions suivantes:

- La méthode est surtout appropriée pour mesurer des *cordons* optiques. On s'attend que de tels cordons soient commandés à l'avenir. En coupant simplement ces cordons en deux, si on le désire, on obtient deux fiches avec pigtails. Pour la mesure, un cordon (échantillon) est raccordé entre deux fibres auxiliaires HS (côté émission) et HE (partie réception)
- *Aucun liquide d'adaptation d'indice* n'est nécessaire pour les mesures prévues. Toutes les opérations sont effectuées à l'état «sec»
- La mesure est très simple et se prête fort bien à des *contrôles d'entrée* de série. Il est vrai que l'on mesure la perte d'insertion et le taux de réflexion de *deux* connexions branchées en série. Pour un contrôle d'entrée rapide, il suffit de déterminer ensuite un critère, à savoir par exemple, que la perte d'insertion des deux connexions doit être inférieure à 0,6 dB et le taux de réflexion supérieur à 27 dB
- Les deux grandeurs de mesure peuvent être, bien entendu, mesurées *séparément* avec le même appareillage.

der Stecker S_2 oder S_3 eines Verbinders *einzel*n ermittelt werden.

Die Methode findet vor allem dort Anwendung, wo ein Verbinder gemäss der MVT-Methode nicht angenommen wird und man genau wissen möchte, welcher der beiden Stecker nicht in Ordnung ist.

73 Messungen an Pigtails, «trocken» (Methode MPT)

Bei dieser Methode hat man an die Pigtails gedacht (Fig.17c). An das freie Ende des Pigtails wird in diesem

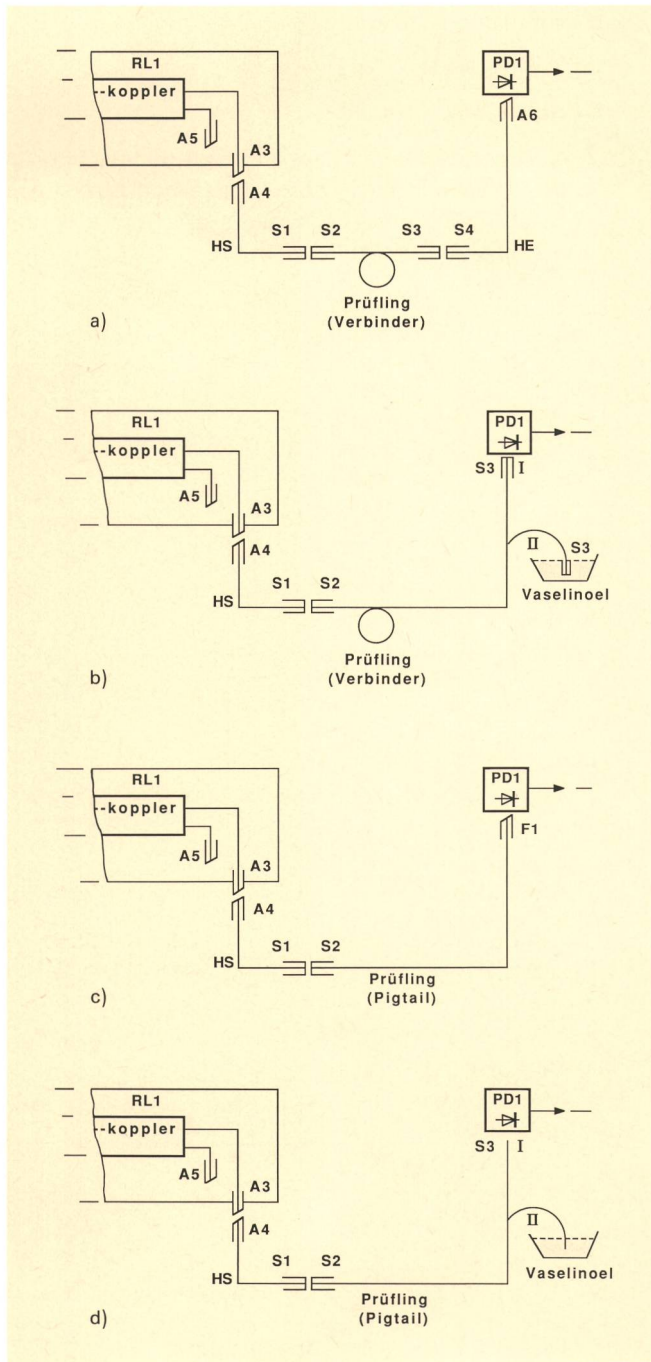


Fig. 17
Anschlussmöglichkeiten eines Prüflings – Possibilités de raccordement d'un échantillon
-- koppler -- coupleur
Prüfling (Verbinder) – Echantillon (cordon)
Vaselinöl – Huile de paraffine

72 Mesure «moillée» de cordons optiques (Méthode MVN)

Le dispositif de mesure ressort de la figure 17b. Cette méthode modifiée permet de déterminer la perte d'insertion et le taux de réflexion d'une transition fiche-fiche seulement S_1 - S_2 (ou S_1 - S_3). L'autre extrémité de la connexion mesurée S_3 (ou S_2) est raccordée directement au détecteur PD 1 pour les mesures de pertes, étape I. Pour l'étape II, c'est-à-dire pour les mesures du taux de réflexion, cette extrémité est plongée dans un liquide d'adaptation d'indice (huile de paraffine). Grâce à cette méthode, les propriétés des fiches S_2 ou S_3 d'un connecteur peuvent être déterminées *séparément*.

Cette méthode peut être utilisée partout où un connecteur ne peut être accepté en se fondant sur la méthode MVT et lorsque l'on veut savoir exactement laquelle des deux fiches n'est pas en ordre.

73 Mesure «sèche» de pigtails (Méthode MPT)

Dans cette méthode, on a songé à examiner les pigtails (fig. 17c). A l'extrémité libre du pigtail, on monte une ferrule avec polissage oblique. Le procédé de mesure est identique à celui appliqué aux connecteurs. On examine bien entendu uniquement une transition fiche-fiche S_1 - S_2 .

74 Mesure «moillée» de pigtails (Méthode MPN)

Si, pour une raison quelconque, le montage d'une ferrule à l'extrémité libre du pigtail à examiner n'est pas désirable, il est possible, comme pour la méthode MVN, de procéder en deux étapes (fig. 17d). Dans l'étape I (mesure de la perte d'insertion), l'extrémité libre du pigtail est directement raccordée au détecteur PD 1 (par exemple avec un support de fibre simple). Dans l'étape II (mesure du taux de réflexion), cette extrémité libre est plongée dans de l'huile de paraffine.

75 Détermination des constantes d'étalonnage

Les constantes d'étalonnage de la méthode de mesure sont définies au paragraphe 3. La figure 18 montre schématiquement leur détermination en trois étapes. Ces constantes sont mesurées une seule fois et mémorisées dans le calculateur pour les autres opérations. Au cours des travaux de mesure proprement dits aux connecteurs, seules les puissances de rayonnement P_1 (W) et R_1 (W) sont relevées (fig. 3 et fig. 15).

8 Exemples typiques

La figure 19 montre le comportement d'une connexion multimode. La distance séparant les faces d'extrémité des fibres, due aux connecteurs, était d'environ $2\ \mu\text{m} \dots 3\ \mu\text{m}$. Il en est résulté un résonnateur Fabry-Pérot, d'où certaines instabilités de transmission en raison

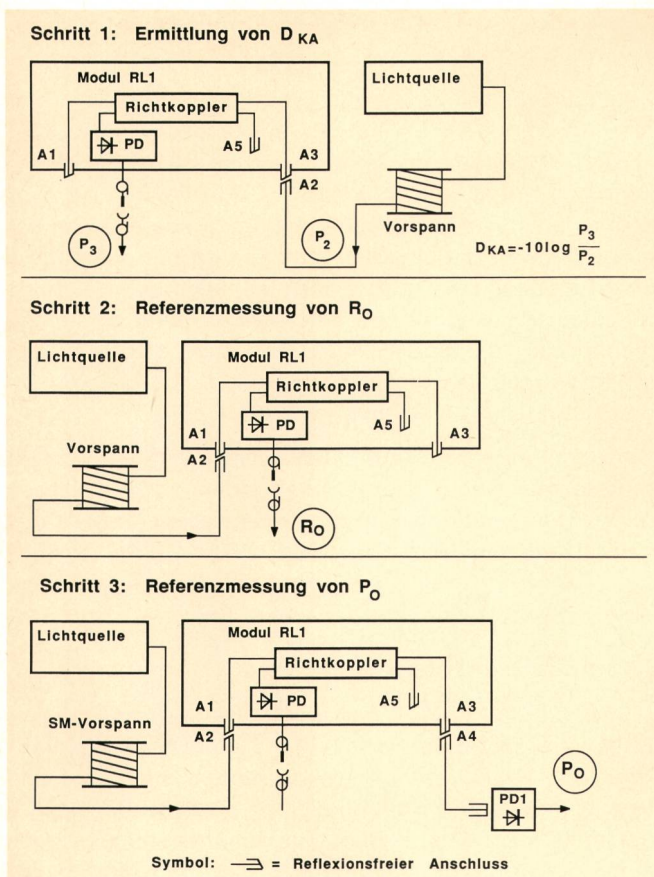


Fig. 18
Ermittlung der Eichkonstanten – Détermination des constantes d'éta-
lonnage
 Schritt – Etape
 Ermittlung von D_{KA} – Détermination de D_{KA}
 Richtkoppler – Coupleur directionnel
 Lichtquelle – Source lumineuse
 Vorspann – Fibre amorce
 Referenzmessung von R_0 – Mesure de référence de R_0
 Symbol, reflexionsfreier Anschluss – Symbole, raccordement exempt de réflexion

Falle eine Ferrule mit Schrägschliff montiert. Der Messvorgang selber ist identisch mit jenem für die Verbinder. Es wird freilich nur ein Steckerübergang S_1-S_2 untersucht.

74 Messungen an Pigtails, «nass»
 (Methode MPN)

Falls aus irgend einem Grunde die Montage einer Ferrule an das freie Ende des zu untersuchenden Pigtails unerwünscht ist, kann man, ähnlich der Methode MVN, in zwei Schritten vorgehen (Fig. 17d). Im Schritt I (Einfügungsdämpfungsmessung) wird das freie Ende des Pigtails direkt an den Detektor PD 1 angeschlossen (z. B. mit einer einfachen Faserhalterung). Im Schritt II (Rückflussdämpfungsmessung) wird dieses freie Ende in Vaselinöl getaucht.

75 Ermittlung der Eichkonstanten

Im Abschnitt 3 sind die Eichkonstanten der Messmethode definiert. In Fig. 18 wird ihre Ermittlung in drei Schritten schematisch dargestellt. Diese Konstanten werden nur einmal ausgemessen und für weitere Berechnungen im Rechner gespeichert. Im Laufe der ei-

d'interférences. On voit un rapport clair entre les pertes d'insertion et les taux de réflexion. De faibles pertes d'insertion signifient simultanément un taux de réflexion plus élevé et inversement.

La figure 20 montre le résultat de la mesure de connexions monomodes FC-PC. Grâce à un bon contact physique entre les fibres, le taux de réflexion est très stable, même lorsque la perte d'insertion subit certaines variations.

La figure 21 illustre la différence entre des mesures selon la méthode MVT et la méthode MVN à des fiches FC-PC identiques. La perte d'insertion moyenne de deux connecteurs mesurés en série est deux fois plus élevée que celle d'une connexion simple. Le taux de réflexion de deux connexions en série est environ 3 dB inférieur (double intensité) à celui d'une connexion simple.

9 Conclusions

– La nouvelle méthode et l'appareillage décrits pour la mesure simultanée de la perte d'insertion et du taux de réflexion dans des connecteurs optiques a donné de bons résultats en pratique

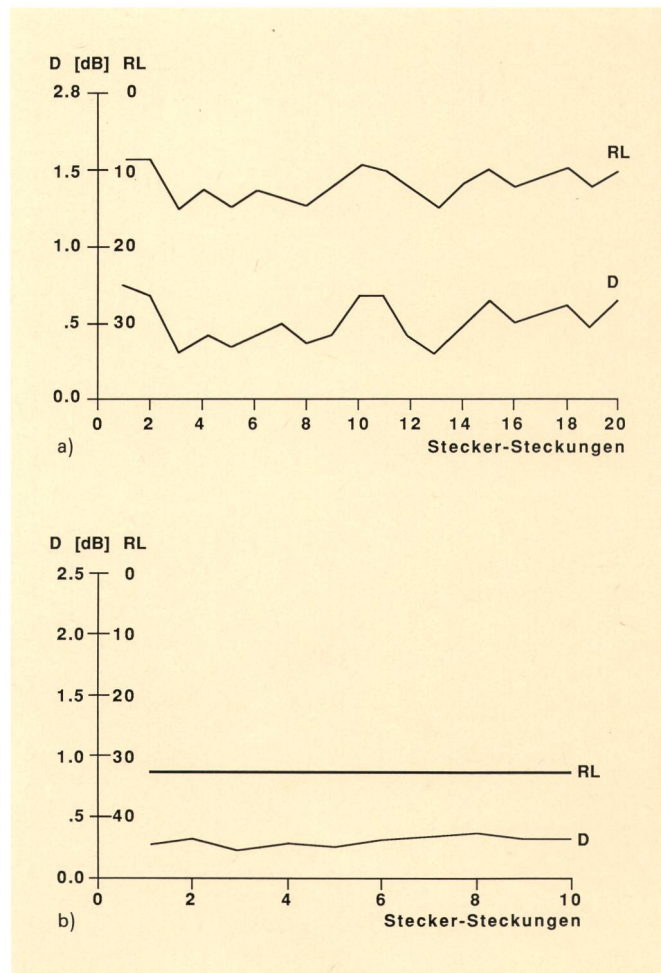


Fig. 19
Multimodestecker – Steckerverhalten: Einfügungsdämpfung (D) und
Rückflussdämpfung (RL) als Funktion der Anzahl Steckungen – Con-
necteur multimode – Comportement d'une connexion: Perte d'insertion (D) et
taux de réflexion (RL) en tant que fonction du nombre d'en-
fichage
 Stecker-Steckungen

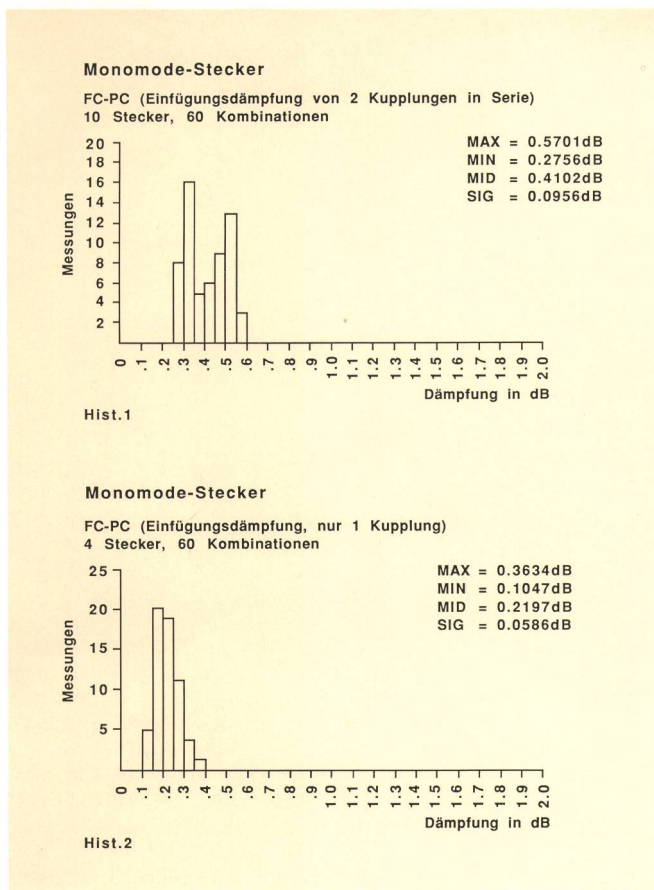


Fig. 20
 FC-PC-Monomodestecker – Steckerverhalten: Einfügungsdämpfung (D) und Rückflussdämpfung (RL) als Funktion der Anzahl Steckungen Monomode-Stecker – Fiche monomode FC-PC – Comportement d'une connexion: Perte d'insertion (D) et taux de réflexion (RL) en tant que fonction du nombre d'enfichage
 FC-PC (Einfügungsdämpfung von zwei Kupplungen in Serie) – FC-PC (perte d'insertion de deux coupleurs en série)
 FC-PC (Einfügungsdämpfung, nur eine Kupplung) – FC-PC (perte d'insertion, seulement une connexion)
 Stecker – Fiche
 Kombinationen – Combinaisons
 Messungen – Mesures
 Dämpfung in dB – Perte d'insertion en dB

gentlichen Messarbeiten an Steckern werden nur die Strahlungsleistungen P_1 (W) und R_1 (W) gemessen (Fig. 3 bzw. Fig. 15).

8 Typische Beispiele

Figur 19 zeigt das Verhalten einer Multimodekupplung. Der steckerbedingte Abstand zwischen den Faserstirnflächen betrug etwa $2\ \mu\text{m} \dots 3\ \mu\text{m}$. Der dadurch entstandene Fabry-Perot-Resonator verursacht gewisse Transmissionsinstabilitäten als Folge der Interferenzerscheinungen. Man sieht einen klaren Zusammenhang zwischen den Einfügungs- und Rückflussdämpfungen. Kleinere Einfügungsdämpfung bedeutet gleichzeitig entsprechend erhöhte Rückflussdämpfung und umgekehrt.

Figur 20 zeigt als Beispiel das Ergebnis der Messungen an FC-PC-Monomodesteckern. Dank einem guten physischen Kontakt zwischen den Fasern verhält sich die Rückflussdämpfung sehr stabil, auch wenn die Einfügungsdämpfung gewisse Variationen aufweist.

Figur 21 zeigt den Unterschied zwischen den Messungen mit der MVT- und der MVN-Methode an denselben

- En réalisant simultanément la mesure des deux paramètres, il a été possible de mieux étudier divers phénomènes concernant les connexions
- En plus de la méthode conventionnelle « mouillée », on propose également une méthode « sèche ». Celle-ci se caractérise par une plage de mesure dynamique plus élevée et une précision supérieure à celle de la méthode « mouillée ». En outre, le travail avec des connecteurs exempts d'huile est plus pratique et plus agréable
- La méthode MVT est optimalement appropriée à des mesures rapides et simples de connexions optiques lors de contrôle de sortie ou d'entrée
- Il est possible, à l'aide de cette place de mesure, de mesurer également d'autres éléments tels que des épissures, des atténuateurs, des coupleurs, etc.
- La construction d'un appareil plus complexe, par exemple en y associant une source lumineuse, les deux systèmes de détection, des amplificateurs, des voltmètres, et, le cas échéant, un ordinateur, le tout étant monté dans une seule unité, serait souhaitable

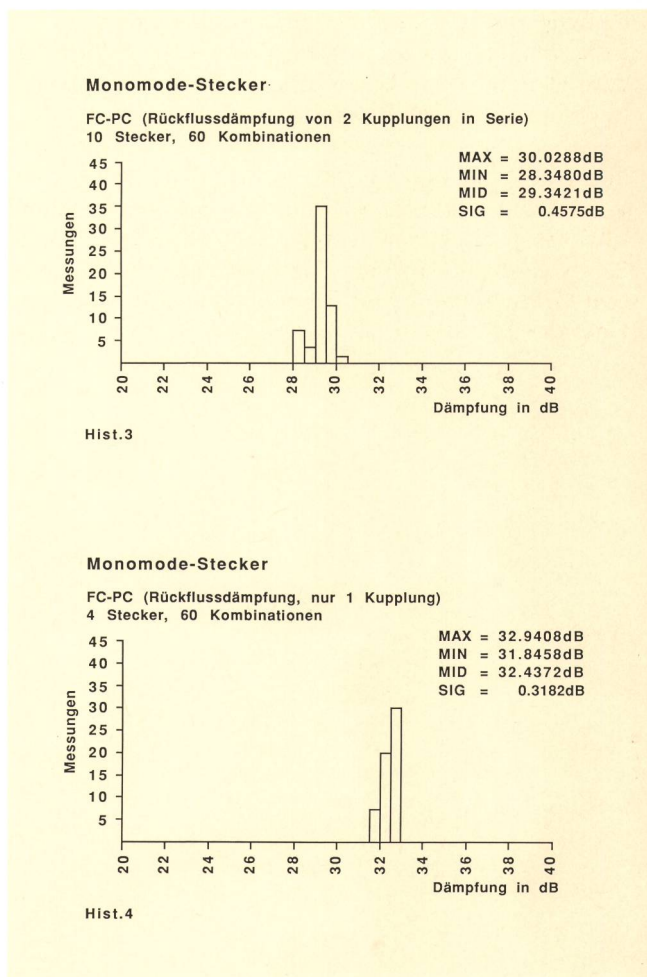


Fig. 21
 Messungen an FC-PC-Monomodesteckern – Mesures à des fiches monomodes FC-PC
 Monomode-Stecker – Fiches monomodes
 FC-PC (Rückflussdämpfung von zwei Kupplungen in Serie) – FC-PC (taux de réflexion de deux connexions en série)
 FC-PC (Rückflussdämpfung, nur eine Kupplung) – FC-PC (taux de réflexion, seulement une connexion)
 Stecker – Fiche
 Kombinationen – Combinaisons
 Messungen – Mesures
 Dämpfung in dB – Perte d'insertion en dB

FC-PC-Steckern. Die durchschnittliche Einfügungs-dämpfung zweier in Serie gemessener Kupplungen ist doppelt so hoch wie jene der einfachen Kupplung. Die Rückflussdämpfung zweier Kupplungen in Serie liegt dabei um etwa 3 dB tiefer (zweifache Intensität) als bei Einzelkupplungen.

9 Schlussfolgerungen

- Die beschriebene neue Methode und Apparatur zur simultanen Messung von Einfügungs- und Rückflussdämpfung an optischen Steckern hat sich im praktischen Betrieb gut bewährt.
- Die simultan durchführbaren Messungen beider Parameter erlauben verschiedene Steckerphänomene besser zu studieren.
- Neben der konventionellen «nassen» Methode wird hier auch eine «trockene» Lösung vorgeschlagen. Diese zeichnet sich durch einen höheren dynamischen Messbereich und höhere Genauigkeit als die «nasse» aus. Zudem ist die Arbeit mit den Steckern ohne Ölverwendung praktischer und angenehmer.
- Die MVT-Methode ist für einfache und schnelle Messungen an optischen Verbindern bei einer Aus- bzw. Eingangsqualitätskontrolle optimal geeignet.
- Es ist möglich, mit Hilfe dieses Messplatzes auch andere Elemente, wie Spleissungen, Dämpfungsglieder, Koppler u. ä. auszumessen.
- Der Bau eines komplexeren Gerätes, z. B. zusammen mit einer Lichtquelle, beiden Detektionssystemen, Verstärkern, Voltmetern und gegebenenfalls einem Rechner in einer Einheit wäre anzustreben.
- Es ist vorgesehen, diese Methode im PTT-Pflichtenheft aufzunehmen und sie bei der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) vorzuschlagen.

- Il est prévu d'introduire cette méthode dans le cahier des charges des PTT et de la proposer à la Commission électrotechnique internationale (CEI).

Bibliographie

- [1] *Novák R.* Optische Stecker. Techn. Mitt. PTT, Bern 60 (1982) 4, S. 178.
- [2] PC single mode connector. «Application note». 9/86 V 1.0 NTC, Tokio.
- [3] Return loss measurement of VFO and DF single mode connectors. «Application note». Radial, Rosnys/Bois France, 1987.
- [4] *Berney T., Berthou H. G., Cochet F. and Parriaux O.* Allfiber coupler as 1.3/1.55 micron multiplexer or wide band power splitter. Proceedings European Fiber Optic Communication/Local Area Networks (EFOC/LAN), Basle 1987, p. 122.
- [5] *Huan-Ben Yin.* Singlemode connector and attenuator with slantingly polishing of fiber end-faces. Proceedings European Fiber Optic Communications/Local Area Networks (EFOC/LAN), Basle 1987, p. 118.
- [6] *Novák R., Gilgen H.H. and Salathé R.P.* Modern concepts of optical connectors. Symposium of Applied Optics. Conference Proceedings, Prague 1987, p. 296.
- [7] *Young W.C., Shah V. and Curtis L.* Stress-induced increases in interference effects at fiber joints and a method to eliminate interference effects in optical fiber measurements. Technical Digest. Symposium on Optical Fiber Measurements, Boulder 1986. NBS special publication 720, p. 69.